

EVALUACIÓN DE GENOTIPOS DE FRIJOL COMÚN Y PORTADORES FOSFÓRICOS EN SUELO FERRALÍTICO CUARCÍTICO ROJO AMARILLENTO DE VIÑALES

ING. JORGE LUIS REYES POZO,¹ ING. AURELIO GARCÍA ALTUNAGA,² ING. SEGUNDO CURBELO GÓMEZ¹ E ING. OSVIEL SÁNCHEZ CORVO¹

¹ Estación Experimental Forestal de Viñales, Km 20, Carretera a Viñales, Pinar del Río, Cuba

² Dirección Provincial de Suelos, Finca La René, Km 33½ Carretera Bejucal, Quivicán, La Habana

RESUMEN

Este artículo se basó en el estudio del comportamiento de cuatro variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris) con cuatro tipos de fertilizantes fosfóricos distribuidas en 16 tratamientos en áreas de la Estación Experimental Forestal de Viñales, Pinar del Río, en los años 2000 y 2003, y tuvo como objetivo determinar el o los genotipos de frijol y los portadores fosfóricos cuáles mejores respuestas presenten a las condiciones de suelo que existen en esta zona. Los resultados se muestran en distintos análisis realizados durante su desarrollo, en las variables número de vainas por plantas, número de granos por vainas y cantidad de fósforo absorbido por las plantas. Cuando se valoró el comportamiento de estas variables se observó que los tratamientos correspondientes a las variedades de frijol DOR 364 y BAT 477, los fertilizantes superfosfato simple (SSP) y la roca fosfórica parcialmente solubilizada (RFPS) fueron los mejores tratamientos. Este resultado muestra el eficiente uso de fertilizantes totalmente solubles o parcialmente solubilizado en suelos con deficiencia de fósforo, y especialmente en aquellos en que se cosechen cultivos de ciclo corto, que sean fijadores de nitrógeno atmosférico, como proceso químico que demanda gran gasto de energético.

Palabras clave: genotipos, fosfórico, suelo, fertilizantes, frijol común

ABSTRACT

This work was based on the study of the behavior of four varieties of common bean (Phaseolus vulgaris) with four types of phosphoric fertilizers distributed in 16 treatments in areas of the Forest Experimental Station of Viñales, Pinar del Río, in the years 2000 and 2003, and tube like objective to determine the or the bean genotypes and the phosphoric payees that better answers present to the floor conditions that exist in this area, the results is shown in different analysis that were carried out during its development, in the following variables: number of sheaths for plants, number of grains for sheaths, quantity of match (P) absorbed by the plants. When the behavior of these variables was valued it was observed that the treatments corresponding to the bean varieties DOR 364 and BAT 477, the fertilizers simple superfosphate (SSP) and the phosphoric rock partially soluble (RFPS) they were the best treatments. This result shows the efficient use of completely soluble fertilizers or partially soluble in floors with match deficiency and especially in those that are carried out cultivations of short cycle that are fixers of atmospheric nitrogen, like chemical process that demands great expense of energy.

Key words: genotypes, phosphoric, soil, fertilizers, common bean

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), conocido en diferentes latitudes como alubia frijol, alubia de riñón, judía, poroto y caraota, es originario de América Latina. Es un cultivo de gran importancia para la alimentación humana por su elevado contenido de nutrientes. Constituye una importante fuente de proteína (alrededor de 22%). Se consumen las vainas frescas o tiernas y también sus granos secos [Socorro y Martín, 1995].

En Cuba, el frijol común, principalmente las variedades de color negro, representan un componente esencial de la dieta alimentaria (unos 30 kg anuales por habitante). La deficiencia de fósforo es uno de los principales factores que limita la producción del frijol y la eficiencia de la fijación simbiótica del nitrógeno (FSN) en ecosistemas cubanos donde se cultiva esta leguminosa [Hernández et al., 1996].

Muchos de los suelos de las regiones tropicales y subtropicales son deficientes en fósforo. En estos casos la fertilización fosfórica puede ser un método eficaz para corregir estas deficiencias y obtener aceptables rendimientos agronómicos. No obstante, la elevada capacidad de adsorción de fósforo que tienen estos suelos determina que resulte baja la eficiencia agronómica de los fertilizantes fosfóricos tradicionalmente empleados, superfosfatos simples o triples, con valores que en pocos casos rebasan 15%, e incluso con valores cercanos a cero por ciento. Este hecho, unido al elevado costo de los fertilizantes fosfóricos convencionales solubles y a consideraciones de índole ambien-

tal, ha propiciado que en los últimos años se considere la aplicación de roca fosfórica (RF) natural. En los casos en que la RF en la aplicación directa no resulte eficiente, se sugiere su modificación. Hammond et al. (1986), Kato et al. (1995), García et al. (1996), Salinas y Sánchez (1976) han recomendado, como estrategia económica para la fertilización fosfórica en suelos tropicales, utilizar roca fosfórica en aplicación directa, selección de cultivos con elevada capacidad de absorción y uso de fósforo escasamente soluble de estas fuentes o del suelo.

Es reconocido el alto requerimiento de fósforo de las leguminosas, lo que condiciona que en suelos de baja disponibilidad los rendimientos alcanzados no sean elevados. Sali y Keya (1986), Frageria y Corvalho (1996) han demostrado que el fósforo resulta vital para las leguminosas, tanto para el desarrollo del cultivo como para fijar eficientemente el nitrógeno atmosférico. La formación de nódulos y el crecimiento de las bacterias, así como la propia FSN, son procesos que requieren gran demanda de energía suministrada por los azúcares, lo que depende del compuesto fosfórico [Chien et al., 1993]. Diversos autores como Chien et al. (1993, 1995) y Frageria y Carvalho (1996) han comprobado el importante papel del fósforo para la nutrición de leguminosas, y el posible uso de roca fosfórica como fuente de fósforo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo utilizado se clasifica como alítico de baja actividad arcillosa [Ins-

tituto de Suelos, 1999], ubicado en un área de autoconsumo de la Estación Experimental Forestal Viñales, perteneciente al Instituto de Investigación Forestal del Ministerio de Agricultura. Es un suelo muy ácido, pobre en materia orgánica, con concentraciones medias de calcio (Ca) y magnesio (Mg), bajas de fósforo (P) y potasio (K) [Awan y Frías, 1970].

Productos basados en roca fosfórica

Se utilizó la roca fosfórica (RF) del yacimiento Trinidad de Guedes,

ubicado en el municipio de Unión de Reyes, provincia de Matanzas, la roca fosfórica parcialmente solubilizada (RFPS) a 50% con ácido sulfúrico (H_2SO_4), producida en la empresa Rayonitro, y el superfosfato simple (SSP) como fertilizante totalmente soluble en agua y de referencia.

En la *Tabla 1* aparecen los parámetros para el cálculo de ácido necesario a fin de solubilizar totalmente la apatita presente en el mineral.

TABLA 1

Composición química de la RF Trinidad de Guedes y cálculo de la cantidad de H_2SO_4 ciento por ciento para solubilizar totalmente la apatita

Componente	P_2O_5	SO_3	F	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	F_2O_3
Análisis químico (%)	30,60	1,45	2,50	43,57	0,28	0,59	0,12	3,42	2,14

TABLA 2

Composición química de la RF natural y RFPS, expresada en por ciento del mineral

Producto	P_2O_5	CaO	N	SO_3	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	Al_2O_3
RF	30,60	43,57	-	1,55	0,28	0,12	0,59	2,14	3,42
RFPS	19,31	27,05	-	20,24	0,31	3,79	0,57	2,08	4,02

TABLA 3

Solubilidades en diferentes extrayentes de la RF Trinidad de Guedes y la RFPS, expresadas en por ciento del fósforo (P) total

Producto/Extrayente	H_2O	Ac. Cit. 2%	Ac. Form. 2%	NH_4Ac
RF	0,07	26,5	26,8	11,3
RFPS	28,50	76,0	61,7	44,9

Material vegetal

Los genotipos de frijol común evaluados fueron BAT 477, DOR 364, DOR 390 y Censa. Los colores de grano son BAT 477, gris; DOR 390 y Censa, negro; DOR 364, rojo jaspeado en blanco. DOR 364 y DOR 390 son resisten-

tes al virus del mosaico dorado. Censa es utilizado como genotipo local.

Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con tres réplicas. Los

tratamientos aplicados -16 en total- estuvieron conformados por los cuatro genotipos de frijol mencionados y tres fuentes de fosfatos (RF, RFPS y SSP) y la inclusión de los correspondientes testigos (sin aplicación de fósforo). Cada parcela experimental estuvo conformada por 3 m de largo x 4,2 m de ancho (seis surcos espaciados a 0,70 m).

La distancia de siembra fue 0,05 m (20 semillas por metro lineal). En siembra se aplicó una fertilización de fondo de nitrógeno y potasio equivalente a la aplicación de 15 kg Nha⁻¹ y 60 kg K₂O/ha⁻¹, y como portadores urea y cloruro de potasio (KCl), respectivamente. La dosis de fósforo añadida con cada portador fue 90 kg P₂O₅/ha⁻¹. Las semillas de todos los genotipos de frijol en el momento de la siembra se inocularon con la cepa de *Rhizobium* 6bIII, aislada de suelo alítico de baja actividad arcillosa y reproducida en el Laboratorio de Rhizobiología de la Dirección Provincial de Suelos Habana La Rene.

En la etapa de desarrollo R7-R8 se tomaron 10 plantas de los cuatro surcos centrales, procesadas para determinar la materia seca producida por órgano y las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio mediante análisis químico. Por cálculo se determinaron las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio.

En la etapa de desarrollo R9 se realizó la cosecha. Las muestras se procesaron para determinar el rendimiento en granos y las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio; por cálculo, se determinaron las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio.

Tratamientos

1. BAT 477 + NK
2. BAT 477 + RF + NK
3. BAT 477 + RFPS + NK
4. BAT 477 + SSP + NK
5. DOR 364 + NK
6. DOR 364 + RF + NK
7. DOR 364 + RFPS + NK
8. DOR 364 + SSP + NK
9. DOR 390 + NK
10. DOR 390 + RF + NK
11. DOR 390 + RFPS + NK
12. DOR 390 + SSP + NK
13. Censa + NK
14. Censa + RF + NK
15. Censa + RFPS + NK
16. Censa + SSP + NK

La evaluación estadística de la producción comprendió análisis de varianza, mientras que las medias por tratamientos fueron comparadas mediante prueba de Newman-Keuls.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación en la etapa de desarrollo R7-R8

En la *Fig. 1* se muestra la extracción de nitrógeno realizada por las raíces. Se observa diferencia genotípica, así como diferencias en la respuesta a los portadores fosfóricos. Los bajos valores en el tratamiento testigo (sin fósforo) para los cuatro genotipos evidencia la carencia del elemento en suelo. La RF en aplicación directa mejoró la extracción de nitrógeno por las raíces; pero el hecho de re-

sultar un fertilizante fosfórico prácticamente insoluble (Tabla 3) explica que los mejores resultados en extracción de nitrógeno sean con la aplicación de RFPS, y en mayor medida con SSP. Frente a estos dos fer-

tilizantes el orden de extracción de nitrógeno fue: BAT 477 > DOR 364 > DOR 390 ≥ Censa. Hay que tener presente que BAT 477 es un genotipo de frijol común desarrollado para suelos ácidos y deficientes en fósforo.

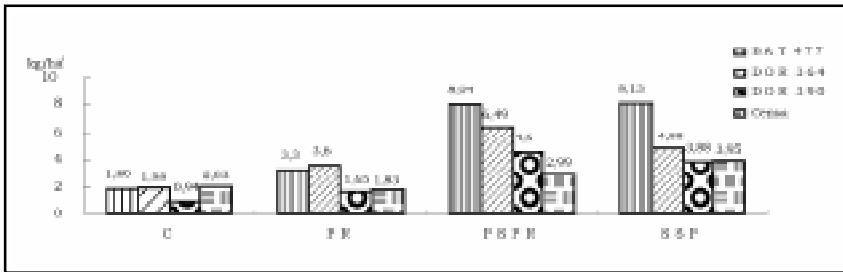


Fig. 1. Extracción de nitrógeno en raíces de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8

En cuanto a la extracción de fósforo por las raíces (Fig. 2), se obtuvo prácticamente el mismo resultado que

con la extracción de nitrógeno: diferencias genotípicas y RFPS y SSP superiores que la RF.

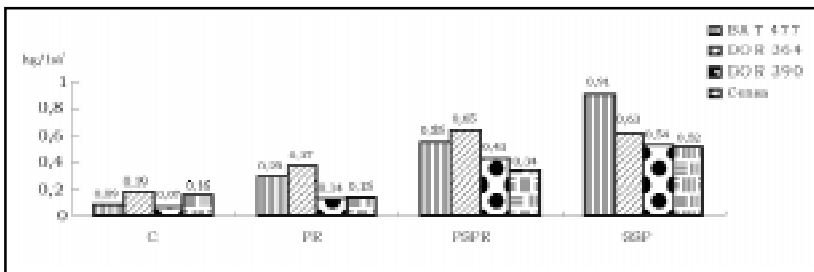


Fig. 2. Extracción de fósforo en raíces de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8.

Respecto a la extracción de potasio por las raíces, el comportamiento encontrado fue algo diferente.

Con la aplicación de RFPS, fue DOR 364 el genotipo que mayor extracción

de potasio realizó. Le siguieron en orden BAT 477, DOR 390 y Censa; sin embargo, al utilizarse SSP el orden fue BAT 477 > Censa > DOR 364 > DOR 390. La similitud de comporta-

miento entre las extracciones de nitrógeno y fósforo frente a los fertilizantes fosfóricos no es de extrañar,

puesto que estos dos elementos poseen algunas funciones fisiológicas comunes.

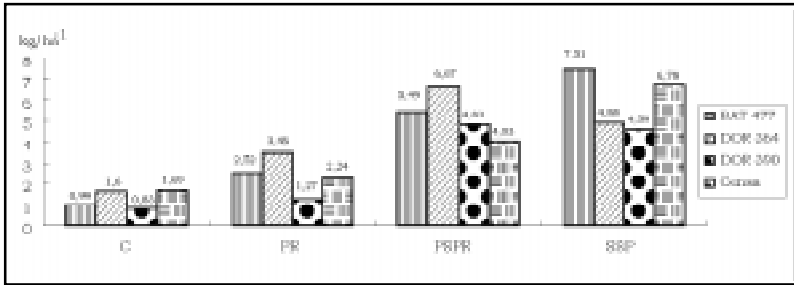


Fig. 3. Extracción de potasio en raíces de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8.

Igualmente se encontraron diferencias genotípicas y en la respuesta a los fertilizantes fosfóricos cuando se evaluaron las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio realizadas por los tallos en la etapa de desarrollo R7-R8 (Figs. 4, 5 y 6). DOR

364 realizó las mayores extracciones de los tres nutrientes, tanto al aplicar SSP como RFPS. Les siguió en orden BAT 477. Realizó DOR 390 mayores extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio que Censa al utilizarse SSP.

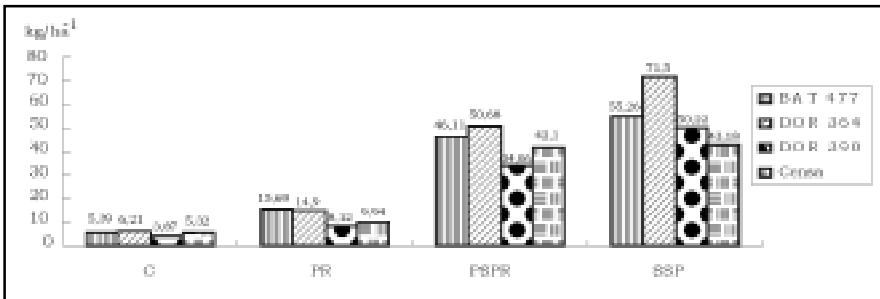


Fig. 4. Extracción de nitrógeno en tallos de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8.

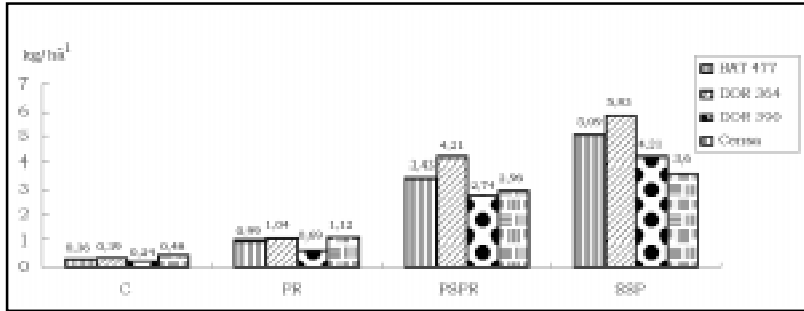


Fig. 5. Extracción de fósforo en tallos de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8.

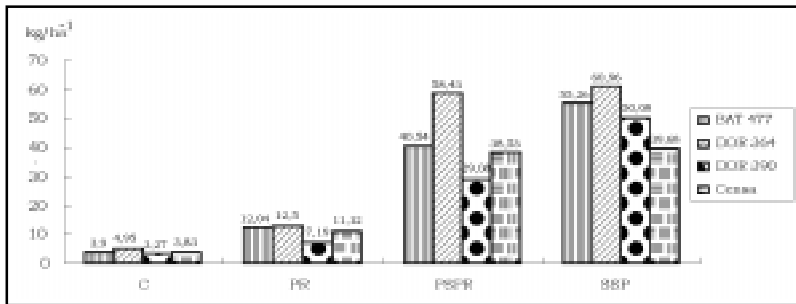


Fig. 6. Extracción de potasio en tallos de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8.

En cuanto a las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio estimadas en las vainas (Figs. 7, 8 y 9) se mantuvo la misma regularidad: diferencias entre genotipos frente a los portadores fosfóricos. En todos los casos el orden de mérito fue SSP > RFPS > RF > Testigo. También se mantuvo la regularidad en el orden de mérito de extracción de nutrientes por los genotipos DOR 364 y BAT 477 como los que realizan mayor extracción, seguidos por DOR 390 y Censa. La importancia de conocer las extracciones de nutrientes que realizan los genotipos de frijol co-

mún evaluados radica en que este parámetro puede ser útil para seleccionar aquellos que aporten mayor cantidad de nutrientes al suelo, lo que se revertiría en el mantenimiento parcial de su nivel de fertilidad.

Evaluación en la etapa de desarrollo R9 (cosecha)

Todos los genotipos de frijol común respondieron a la aplicación de los fertilizantes fosfóricos en la misma medida en que se incrementaba su solubilidad: SSP > RFPS > RF > Testigo (Tabla 4).

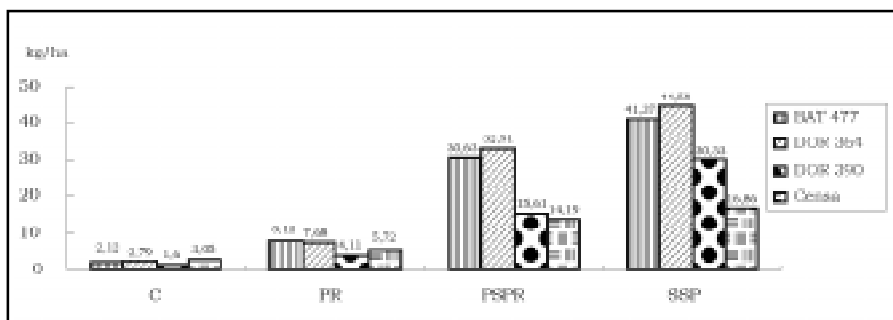


Fig. 7. Extracción de nitrógeno en vainas de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8.

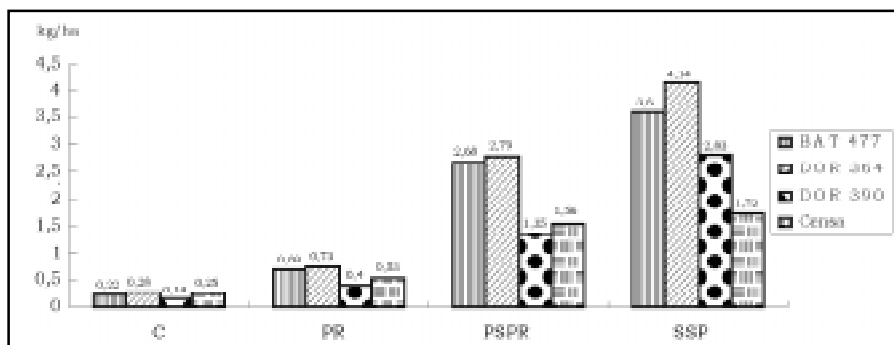


Fig. 8. Extracción de fósforo en vainas de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R7-R8.

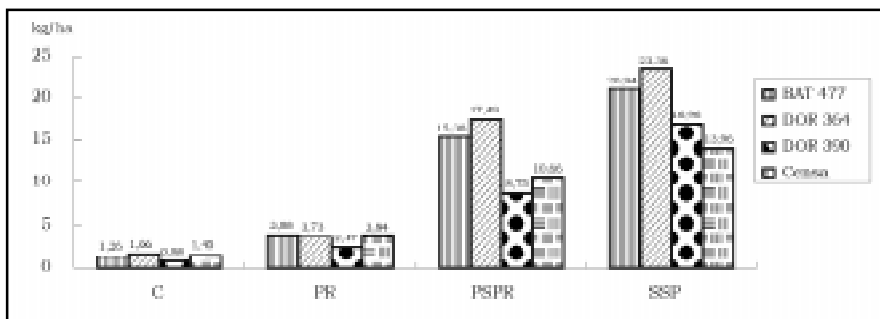


Fig. 9. Extracción de potasio en vainas de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo: etapa R9-R7-R8.

Se demuestra la baja fertilidad fosfórica del suelo, reflejado en que ningún genotipo de frijol, incluyendo a BAT 477 desarrollado para suelos tropicales (acidez, baja fertilidad fosfórica, toxicidad por aluminio, sequía), fue capaz de realizar una producción elevada de granos. La media de producción de granos para los cuatro genotipos en el tratamiento sin fósforo aplicado resultó tan solo de 203,1 kg/ha⁻¹.

La roca fosfórica, a pesar de haberse aplicado en un suelo muy ácido, lo que debe favorecer su disolución, tuvo relativamente poco efecto en incrementar la producción de granos. Los incrementos de rendimiento respecto al tratamiento sin fósforo resultaron en el rango de 148,1 para DOR 364, y 103,1 kg/ha⁻¹ para BAT 477, mientras que fue prácticamente sin efecto para DOR 390. La explicación a la poca efectividad de la roca fosfórica en aplicación directa está dada por la poca saturación de los centros de adsorción de fósforo del suelo (suelo con muy baja fertilidad fosfórica). Así, una fracción del fósforo inicialmente disuelto de la roca fosfórica, ya sea debido a la acidez del

suelo o por acción de los exudados de las raíces, es fijado en la fase sólida del suelo, y por tanto, resultando en formas con menor disponibilidad para las plantas.

La modificación a la cual fue sometida la roca fosfórica –la solubilización parcial con ácido sulfúrico– incrementó la solubilidad del material de partida (Tabla 3). Este incremento de la solubilidad se reflejó en una mayor disponibilidad de fósforo para las plantas, de ahí los incrementos observados en la producción de granos, que permitieron que todos los genotipos de frijol común evaluados rebasaran la cifra de 600 kg/ha⁻¹, e incluso Censa, el fenotipo local, alcanzase la cifra de 733,9 kg de granos/ha⁻¹.

El superfosfato simple resultó el mejor portador fosfórico. Este resultado es lógico toda vez que se trata de un fertilizante totalmente soluble, que el suelo es deficitario en fósforo y que se trata de un cultivo de ciclo corto y fijador de nitrógeno atmosférico, de ahí su solicitud de fósforo para la realización de este proceso, demandante de un gran gasto energético.

TABLA 4
Rendimiento de granos (kg/ha⁻¹) de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo

Tratamiento	BAT 477	DOR 364	DOR 390	Censa	Media
Testigo	239,8	192,7	271,6	108,2	203,1 c
PR	342,9	340,8	267,2	243,9	298,7 c
PSPR	636,4	615,1	639,8	733,9	656,3 b
SSP	1012,2	1419,8	995,2	1051,0	1119,6 a
Media	557,8	642,1	543,4	534,3	-

a, b, c: Medias con letras desiguales difieren estadísticamente a $P \leq 0,05$; prueba de Newman-Keuls.

En cuanto a las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio realizadas por los granos (Tabla 5), el orden de mérito fue SSP > RFPS > RF > Testigo. Se observan también diferencias genotípicas. Así, para la extracción de nitrógeno se encuentran rangos de valores entre 16,89 y 29,72 kg N/ha⁻¹ para los tratamientos con RFPS, y entre 33,3 y 49,83 kg/ha⁻¹ cuando se aplicó SSP.

También hubo un incremento importante en las extracciones de fósforo cuando se aplicaron las dos fuentes de mayor solubilidad: SSP y RFPS. Estos incrementos notables en las extracciones de nitrógeno y fósforo cuando se utilizaron estos dos portadores, además de los ya vistos incrementos en los rendimientos de granos, corroboran que el fósforo es un elemento deficitario en el suelo y que limita la expresión agronómica del cultivo.

TABLA 5
Extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, por los granos de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con diferentes portadores de fósforo

Genotipos	Tratamientos											
	Testigo			PR			PSPR			SSP		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
BAT 477	10,24	4,51	1,20	13,51	5,56	1,78	22,97	11,71	13,12	33,3	18,02	4,66
DOR 390	6,09	7,09	1,20	10,97	7,37	1,26	19,56	17,02	2,94	49,83	23,16	4,58
DOR 364	9,10	3,72	0,85	8,04	5,96	1,40	16,89	10,83	2,4	37,42	41,32	6,11
Censa	3,53	2,93	0,48	9,12	4,98	0,96	29,72	13,8	3,16	40,88	19,5	4,84

CONCLUSIONES

Se encontró variabilidad genotípica en frijol común cultivado en suelo alítico de baja actividad arcillosa respecto a:

- Adaptabilidad a la acidez del suelo. En las muestras controles Censa proporcionó los más bajos rendimientos (108,2 kg/granos ha⁻¹) mientras que los más altos rendimientos correspondieron a DOR 390 (271,6 kg granos/ha⁻¹).
- Respuesta agronómica (producción de granos) y retorno económico frente al empleo de fertilizantes fosfóricos de diferente solubilidad: superfosfato simple > roca fosfórica parcialmente solubilizada > roca fosfórica en aplicación directa.

Se identificaron combinaciones de genotipo de frijol común, fertilizante

fosfórico que posibilita la producción sostenible de frijol en este suelo.

Los resultados son útiles para programas de mejoramiento de frijol común en los que se desee obtener genotipos con atributos tales como:

- Adaptabilidad a la acidez del suelo.
- Eficiencia en el uso del fósforo proveniente de fuentes de mediana solubilidad (RFPS) o de escasa solubilidad (suelo y RF).

BIBLIOGRAFÍA

- AWAN A. B.; G. FRIAS: «Los suelos de la Estación Experimental Viñales, Pinar del Río», *Revista Forestal Baracoa* 2(1):19-30, 1970.
- BENCKLEY L.: «The Amount of Blossom and Pod on Six Varieties of Garden Beans as Son», *Hart. Sci.* 29:489-492, 1992.

- BIXBY, D. W.; D.L. RUCKER; S. M. TISDALE: «Phosphatic Fertilizers. Properties and Processes. A Study of Technological, Economic and Agronomic Considerations», *Technical Bulletin* no. 8, The Sulphur Institute, 1966.
- BOLAN, N. S. ET AL.: «Influence of Manufacturing Variables on Characteristics and the Agronomic Value of Partially Acidulated Phosphate Fertilizers», *Fertilizer Research* 26:119-138, 1990.
- CASANOVA E. F.: «Agronomic Evaluation of Fertilizer with Special Reference to Natural and Modified Phosphate Rock. Results from the Latin American Phosphate Rock Network», *Fertilizer Research* 41:227-234, 1995.
- CHIEN, S. H.; R. G. MENON: «Factors Affecting the Agronomic Effectiveness of Phosphate Rock for Direct Application», *Fertilizer Research* 41: 227-234, 1995.
- GARCÍA, A. ET AL.: «Algunos resultados de evaluación de roca fosfórica natural y modificada realizados en Cuba utilizando técnicas nucleares», *Manejo eficiente de los fertilizantes fosfatados con énfasis en rocas fosfóricas de aplicación directa*, Ed. E. Casanova, XII Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), 1998, pp. 51-63.
- GRAHAM, P. H.: «Some Problems of Nodulation and Symbiotic Nitrogen Fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a Review», *Field. Crops. Res.* 4:93-112, 1981.
- HERNÁNDEZ, G. ET AL.: «Informe del tema "Nutrición de granos básicos", CITMA, La Habana, 1996.
- INSTITUTO DE SUELOS: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. Agrinfor, La Habana, 1999.
- Instructivo técnico para el cultivo del frijol*, Ministerio de la Agricultura, La Habana, 1994.
- MURGUIDO, C.: «Biología, ecología y lucha contra el saltahoja del frijol (*Empoasca kraemeri* Ross y Moore (Homoptera: Cicadellidae) en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)». Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, INISAV, La Habana, 1995.
- MURGUIDO, M.; A. CARLOS: *Manual sobre manejo integrado de plagas enfermedades y malezas en el cultivo del frijol*, INISAV, La Habana, 2000.
- PEREIRA, P. A.; F. A. BLISS: «Nitrogen Fixation and Plant Growth of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at Different Levels of Phosphorus Availability», *Plant and Soil*, 104:79-84, 1987.
- ROSSET, M. METER: «Agricultura alternativa durante la crisis cubana», revista *Manejo Integrado de Plagas* no. 52, jun. 2002.
- SÁNCHEZ G.: «El frijol en México. Competitividad y oportunidades de desarrollo», *Boletín Informativo* no. 316, vol. XXXIII, FIRA, Banco de México, 2001.